

## ОСОБЕННОСТИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ В СТРОЯЩИХСЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА

Морозов А.А., Котов А.А., Богданов Д.Ю., Казутин Е.Г.

*Цель.* Сформулировать основные рекомендации по ликвидации аварий в строящихся подземных сооружениях метрополитена.

*Методы.* В работе применены эмпирические методы исследования (определение зависимости времени защитного действия дыхательного аппарата со сжатым воздухом (АСВ) от температуры окружающей среды), метод теоретического анализа литературных источников при проведении оценки исследований в области ликвидации аварий в строящихся подземных сооружениях метрополитена. Выполнена обработка полученных результатов с использованием метода оценивания и теоретического обобщения полученных данных.

*Результаты.* На основании проведенных экспериментальных исследований определены зависимости времени защитного действия АСВ от температуры окружающей среды в подземных выработках. Определены основные подходы к ликвидации аварий в строящихся подземных сооружениях метрополитена, учитывающие конструктивные особенности данных объектов и необходимость взаимодействия специальных служб при выполнении горноспасательных работ.

*Область применения исследований.* Результаты исследований могут быть использованы Министерством по чрезвычайным ситуациям при разработке рекомендаций по проведению аварийно-спасательных работ в строящихся подземных сооружениях метрополитена.

*Ключевые слова:* метрополитен, подземные выработки, горные выработки, ликвидация аварий, горноспасательная служба.

(Поступила в редакцию 18 марта 2025 г.)

### Введение

Метрополитен – самый быстрый, комфортабельный, надежный и экологически чистый вид городского пассажирского транспорта. Решение о строительстве метрополитена в столице Белорусской ССР, городе Минске, было принято Советом Министров СССР 4 февраля 1977 г. Работы по строительству метро начались 3 мая 1977 г., а 4 ноября 1977 г. с площадки будущей станции «Парк Челюскинцев» стартовали работы по прокладке тоннелей. 29 июня 1984 г., в преддверии 40-й годовщины освобождения Минска от немецко-фашистских захватчиков в годы Великой Отечественной войны, началось регулярное движение поездов Минского метрополитена. Была открыта первая линия от станции «Институт Культуры» до станции «Московская», протяженность которой составила 7,84 км. На линии было восемь станций и электродепо «Московское»<sup>1</sup>.

В данный момент общая длина трех линий Минского метрополитена, рассчитанная в двухпутном исчислении, составляет 44,89 км. На основе генерального плана развития города Минска была создана «Комплексная транспортная схема города Минска», которая включает «Схему развития Минского метрополитена». Согласно этому плану Минский метрополитен будет состоять из четырех линий общей протяженностью 87,9 км и включать 64 станции (рис. 1)<sup>2</sup>.

Первая линия, включающая 15 станций, соединяет жилые районы юго-западной и северо-восточной частей Минска с центром и железнодорожным вокзалом. В дальнейшем планируется расширение линии в двух направлениях: северо-восточном – до станции «Смоленская» и юго-западном – до станции «Щемяслица».

Вторая линия (14 станций) соединяет жилые кварталы северо-западной части города с его центром и промышленным районом, расположенным на юго-востоке. В перспективе

<sup>1</sup> История развития // Минский метрополитен, официальный сайт Минского метро. – URL: [https://metropoliten.by/o\\_metropolitene/history\\_of\\_the\\_development](https://metropoliten.by/o_metropolitene/history_of_the_development) (дата обращения: 14.02.2025).

<sup>2</sup> Перспективы развития // Минский метрополитен, официальный сайт Минского метро. – URL: [https://metropoliten.by/o\\_metropolitene/prospects/](https://metropoliten.by/o_metropolitene/prospects/) (дата обращения: 14.02.2025).

планируется расширение этой ветки в двух направлениях: западном – до станции «Красный Бор» и юго-восточном – до станции «Шабаны».

Третья линия (7 станций) обеспечивает быстрое сообщение между жилыми районами «Курасовщина» и «Минск-Мир», а также деловыми районами города. Она также соединяет три пересадочных узла: станции «Октябрьская» – «Купаловская», «Площадь Ленина» – «Вокзальная» и «Фрунзенская» – «Юбилейная площадь». В будущем третья линия Минского метрополитена, протяженность которой составит 16 км, будет включать 14 станций. Она соединит южную и северную части города с центральной.



Рисунок 1. – Минский метрополитен со строящимися и проектируемыми станциями

В состав четвертой ветки Минского метрополитена войдут 17 станций, общая длина которых составит 25,4 км. Маршрут этой линии будет дублировать второе городское автомобильное кольцо. Четвертая линия будет пересекаться с первой, второй и третьей линиями метро. Строительство четвертой ветки позволит:

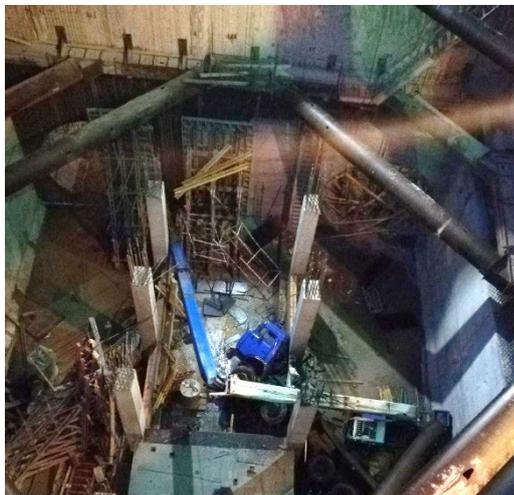
- окончательно решить проблему с перегрузкой пересадочного узла между первой и второй линиями;
- организовать единую систему для всех видов транспорта, включая городской и пригородный.

Строительство подземных сооружений метрополитена сопряжено с возникновением чрезвычайных и внестатных ситуаций (далее – аварии). В период с 1982 г. по настоящее время метростроители сталкивались с такими авариями, как:

- загорание строительных материалов;
- задымление в строящихся тоннелях метрополитена (горных, подземных выработках);
- подтопление котлованов и конструкций в результате обильных осадков;
- размытие бортов котлована обильными осадками;
- падение крана в котлован (рис. 2а);
- вывалы грунта при креплении борта котлована (рис. 2б);
- обрыв грузов при подъеме краном;
- вывалы грунта при проходке немеханизированным щитом;
- вывалы грунта на дневной поверхности при проходке тоннелепроходческим механизированным комплексом;

– падение ограждающих конструкций строительной площадки в результате воздействия порывов ветра.

Для ликвидации данных аварий планируется привлечение вновь создаваемого специализированного подразделения Министерства по чрезвычайным ситуациям (далее – МЧС) – Горноспасательной службы (далее – ГСС) пожарного аварийно-спасательного отряда на объектах Минского метрополитена (далее – ПАСО).



а – падение крана в котлован



б – вывал грунта при креплении борта котлована

Рисунок 2. – Аварии в подземных сооружениях метрополитена

Оснащение ГСС позволяет эффективно реагировать на возникающие аварии, однако в настоящее время отсутствуют обоснованные рекомендации по ликвидации аварий в строящихся подземных сооружениях метрополитена (проведению горноспасательных работ), учитывающие специфику проведения аварийно-спасательных работ и необходимость взаимодействия работников МЧС и УП «Минскметрострой». Учитывая значительное количество планируемых к строительству объектов метрополитена, разработка таких рекомендаций является важной задачей.

### Основная часть

**Горноспасательные работы в условиях высоких температур при задымлении в подземных выработках.** Ключевым фактором при проведении горноспасательных работ в условиях высоких температур при задымлении в подземных выработках является максимально возможное время нахождения горноспасателей в непригодной для дыхания среде. Для определения зависимости данного времени от температуры окружающей среды в подземных выработках совместно с работниками ГСС ПАСО на базе участка строящегося тоннеля метрополитена проведены экспериментальные исследования.

Методика проведения исследований предполагала определение времени непрерывного пребывания работников в непригодной для дыхания среде (время защитного действия АСВ) в случае нахождения горноспасателя на одном месте, а также при передвижении по газозаполненным подземным выработкам (строящимся тоннелям метрополитена) (далее – ЗВТ). При этом горноспасатели выполняли работы средней степени тяжести (установка брезентовой перемычки с закреплением ее в дверном проеме распорными штангами при нахождении на одном месте и передвижение с рукавной линией, заполненной водой, и присоединенным ручным пожарным стволом при передвижении по ЗВТ).

Эксперимент проводили с участием группы горноспасателей в количестве 50 человек в возрасте от 20 до 35 лет, экипированных в комплект боевой одежды пожарного. Каждый участник эксперимента дополнительно экипировался датчиком измерения частоты сердечных сокращений (далее – ЧСС). При достижении значений ЧСС 170 ударов в минуту эксперимент останавливали ввиду опасности получения травмы работником. За итоговый результат принимали среднее арифметическое результатов всех участников, при этом результат каждого отдельно взятого участника принимали как среднее арифметическое пяти измерений времени защитного действия АСВ.

Изменение температур предусматривалось в диапазоне 27–40 °С, создание необходимой температуры достигали путем применения тепловых пушек BALLU ВНР-М-36, замер

значений температуры и влажности выполняли с помощью термометра UniTesS THB 2 (относительная влажность в период проведения испытаний находилась в диапазоне 40–60 %). Время защитного действия АСВ фиксировали с помощью секундомера Интеграл С-02.

Перечень экспериментального оборудования и средств измерения представлен в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1. – Экспериментальное оборудование**

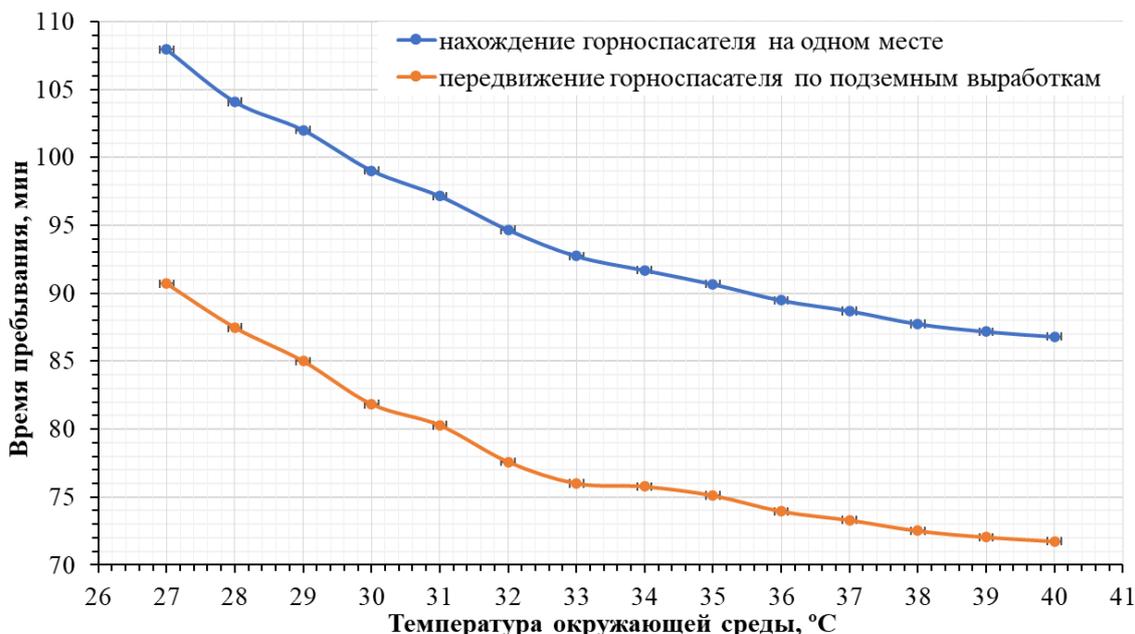
Наименование оборудования	Характеристика
АСВ Dräger PSS 5000 (двухбаллонный)	рабочее давление – 29,4 МПа; редуцированное давление – 0,65–1 МПа; максимальная производительность легочного автомата – 400 л/мин
Баллон к АСВ металло-композитный облегченный ВМК 6,8-139-300	рабочее давление – 29,4 МПа; емкость – 6,8 л (+0,1 %); масса порожнего баллона (не более) – 3,55±0,1 кг; температурный диапазон эксплуатации – от –50 до +60 °С
Тепловая пушка BALLU BHP-M-36	максимальная производительность – 2400 м <sup>3</sup> /ч; максимальная площадь обогрева – 375 м <sup>2</sup> ; нагрев воздуха (дельта температуры) – 44 °С

**Таблица 2. – Средства измерений**

Наименование	Диапазон измерений	Цена деления	Погрешность
Секундомер Интеграл С-02	0 ч 00 мин 00 с – 9 ч 59 мин 59,99 с	0,01 с	± (9,6 · 10 <sup>-6</sup> · T <sub>изм</sub> + 0,01 с)
Термометр UniTesS THB 2	температуры воздуха – 0–50 °С; относительной влажности воздуха – 10–90 %	0,01 °С; 0,1 %	± 0,1 °С; ± 3 %

*Примечание.* Средства измерений внесены в государственный реестр средств измерений Республики Беларусь<sup>3</sup> и на период проведения исследований имели действующие аттестаты, свидетельства о поверке и/или калибровке. Условия проведения исследований соответствовали условиям эксплуатации измерительного оборудования. T<sub>изм</sub> – измеренное секундомером время, с.

Результаты исследований представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3. – Результаты экспериментальных исследований по определению зависимости времени непрерывного пребывания горноспасателей в непригодной для дыхания среде от температуры окружающей среды в ЗВТ**

<sup>3</sup> Государственный реестр средств измерений (стандартных образцов) Республики Беларусь // Государственный информационный фонд по обеспечению единства измерений. – URL: [https://oei.by/grsi?GrsiSearch\[grsi\\_status\]=1](https://oei.by/grsi?GrsiSearch[grsi_status]=1) (дата обращения: 14.02.2025).

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что при температуре окружающей среды от 27 до 40 °С продолжительность непрерывного пребывания горноспасателей в ЗВТ изменяется в диапазоне 108–87 мин при нахождении горноспасателя на одном месте. При передвижении горноспасателя по ЗВТ указанное время в среднем на 21 % меньше и меняется в диапазоне 91–72 мин. При этом средний расход воздуха в первом случае составил  $43,5 \pm 1,2$  л/мин, во втором –  $52,5 \pm 1,5$  л/мин (табл. 3).

**Таблица 3. – Результаты экспериментальных исследований по определению зависимости времени непрерывного пребывания горноспасателей в непригодной для дыхания среде от температуры окружающей среды в подземных выработках**

Температура воздуха, °С	Время непрерывного пребывания работников в непригодной для дыхания атмосфере, мин		Расход воздуха из АСВ, л/мин	
	При нахождении на одном месте	При передвижении по ЗВТ	При нахождении на одном месте	При передвижении по ЗВТ
27	108	91	37,8	45,0
28	104	87	39,2	46,6
29	102	85	40,0	48,0
30	99	82	41,2	49,9
31	97	80	42,0	50,8
32	95	78	43,1	52,6
33	93	76	44,0	53,7
34	92	76	44,5	53,8
35	91	75	45,0	54,3
36	89	74	45,6	55,2
37	89	73	46,0	55,7
38	88	73	46,5	56,3
39	87	72	46,8	56,6
40	87	72	47,0	56,9

Далее, на основании результатов приведенных исследований и анализа научной литературы по теме публикации [1–14], а также с учетом требований действующих нормативных правовых актов<sup>4</sup>, приведем рекомендации по проведению горноспасательных работ в условиях высоких температур в ЗВТ, а также в случае возникновения других аварий.

В условиях, когда требуется выполнение работ в среде с высокими температурами и влажностью, необходимо принять меры для снижения этих параметров и создания более благоприятных условий. Это может быть достигнуто с помощью систем вентиляции или охлаждения. Работники, выполняющие задачи в таких условиях, должны быть обеспечены индивидуальными и групповыми средствами защиты от воздействия тепла, такими как специальная одежда или куртки.

Отделение ГСС (далее – отделение), работающее в ЗВТ, должно состоять не менее чем из пяти горноспасателей, включая командира отделения. В тоннели метро, сооружения большой протяженности (площади) для работы в ЗВТ направляются не менее двух отделений, объединенных одной задачей. В этом случае один из командиров отделений назначается старшим. Для обеспечения безопасности работающих в ЗВТ необходимо выставлять пост безопасности (далее – ПБ) – временный пост для осуществления контроля за работой отделений. Постовой поста безопасности обязан:

- перед входом отделения в ЗВТ проверить наличие и приведение в действие датчиков контроля неподвижного состояния, внести сведения о газодымозащитниках звена и наименьшее давление в баллонах в планшет постового поста безопасности;
- проводить расчеты допустимого времени работе отделений в ЗВТ;
- осуществлять контроль за количеством горноспасателей, ушедших в ЗВТ и возвратившихся из нее;

<sup>4</sup> Об утверждении правил по обеспечению промышленной безопасности при проходке горных выработок для строительства подземных сооружений: постановление М-ва по чрезв. сит. Респ. Беларусь от 13 ноября 2014 г. № 30: в ред. от 23 февраля 2018 г. № 10 // Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности М-ва по чрезв. сит. Респ. Беларусь. – URL: <https://gospromnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/7bd/20.pravila-po-obespecheniyu-promyshlennoy-bezopasnosti-pri-prokhodke-gornykh-vyrabotok-dlya-stroitelstva-podzemnykh-sooruzheniy.pdf> (дата обращения: 11.03.2025).

– при выходе отделения непосредственно к месту ликвидации аварии выяснить наименьшее давление АСВ в отделении и рассчитать давление, при котором необходимо начать выход из ЗВТ;

– при работе через каждые 10 мин, а при необходимости чаще, запрашивать у командира отделения информацию о наименьшем давлении АСВ в отделении, информировать о давлении, при котором отделению необходимо начать движение на выход из ЗВТ;

– поддерживать связь с отделением, работающим в ЗВТ, с помощью средств связи, выполнять указания командира отделения при необходимости его взаимодействия с руководителем ликвидации аварии (далее – РЛА);

– при нарушении связи с отделением, поступлении сообщения о несчастном случае или задержке его возвращения немедленно докладывать об этом РЛА и действовать в соответствии с его указаниями;

– не допускать в непригодную для дыхания среду работников (людей) без АСВ, а также имеющих АСВ, но не входящих в состав отделения или имеющих АСВ разного типа;

– вести наблюдение за обстановкой по внешним признакам, состоянием строительных конструкций в месте размещения поста безопасности, обо всех изменениях немедленно докладывать РЛА и командиру отделения, находящемуся в ЗВТ. Если отделению грозит опасность, немедленно вызвать его на чистый воздух, доложить об этом РЛА.

Также для организации работы отделений необходимо создавать контрольно-пропускной пункт (далее – КПП), возглавляемый начальником КПП (далее – НКПП).

Для безопасной работы отделений НКПП обязан:

– определить место организации и состав КПП, обеспечить его работу;

– обеспечить готовность отделений к направлению в ЗВТ и информирование личного состава в соответствии с распоряжениями РЛА;

– определять время работы и отдыха отделений, порядок их смены;

– сосредоточить необходимый резерв отделений (из расчета одно резервное отделение на каждое работающее);

– вести учет работающих и находящихся в резерве отделений;

– обеспечить своевременную смену отделений, работающих в ЗВТ;

– поддерживать связь с постами безопасности и контролировать наличие связи между ними и работающими отделениями;

– информировать РЛА о работе отделений;

– организовать контроль за самочувствием личного состава, работающего в АСВ, в том числе (при необходимости) с привлечением для этих целей медицинского персонала.

Запрещается ведение подземных работ в выработках с высокой температурой окружающей среды без резервного отделения и связи с постом безопасности.

При входе в ЗВТ отделение выполняет замеры температуры окружающей среды, концентрации кислорода, метана, оксида углерода в воздухе. Время замера и его результаты заносятся (мелом) на стенку выработки. Командир отделения обязан передать на пост безопасности место, время и результат замера, а также рассчитать допустимое время на движение вперед и ознакомить с данной информацией личный состав, входящий в состав отделения, по возможности записать данные в блокнот. В дальнейшем повторные замеры и корректировка допустимого времени движения вперед производятся через каждые 5 мин.

Если отделение следует вперед в условиях высокой температуры механическим транспортом, то время на обратный путь должно резервироваться из расчета пешего возвращения.

Если истекло допустимое время пребывания или движения вперед, отделение должно прекратить выполнение задачи и немедленно возвратиться из зоны высокой температуры на пост безопасности.

При появлении хотя бы у одного из спасателей признаков плохого самочувствия отделение в полном составе должно немедленно выйти из ЗВТ, сообщив об этом на пост безопасности.

В ЗВТ необходимо принимать все меры предупреждения от перегревания горноспасателей:

– применять противотепловые средства индивидуальной защиты и средства защиты органов дыхания (преимущественно с холодильным устройством при их наличии);

– использовать только выданную форменную одежду;

- применять искусственное охлаждение воздуха с помощью имеющихся на объекте технических устройств;
- использовать по возможности нижние части выработок, а также воду, пакеты с охлаждающей смесью или брикеты льда для охлаждения воздухопроводной системы дыхательного аппарата и отдельных частей тела;
- пользоваться подземным транспортом для перевозки отделений и доставки оборудования к месту аварии.

При использовании направляющего троса отделение перед входом в непригодную для дыхания среду закрепляет его у места размещения поста безопасности, а затем прокладывает его к месту работы и закрепляет его. Трос используется как ориентир. При следовании к месту работы и возвращении обратно старший в отделении закрепляется карабином за данный трос и следует первым. Замыкающим назначается наиболее опытный горноспасатель. Убирается трос звеном, возвращающимся последним. Для продвижения отделений в другом направлении также используются направляющие тросы.

**Тушение подземных пожаров.** При подземном пожаре спасательные работы и эвакуация людей не должны сдерживать осуществления первоочередных мер по локализации и тушению очагов пожара. Процесс тушения пожара не должен создавать угрозы эвакуируемым и выполняющим эти работы людям.

РЛА, отправив первые отделения на аварийный участок согласно плану ликвидации аварии, обязан выполнить следующее:

1. Исследовать и оценить эффективность существующей системы вентиляции в подземном сооружении.
2. Определить потенциальные пути распространения огня через существующие выработки, скважины, провалы и другие конструктивные элементы, а также возможные пути подхода к ним.
3. Разработать стратегию ликвидации пожара.
4. Определить оптимальное размещение сил и средств, а также необходимое количество ресурсов для ограничения и тушения пожара.

Вентиляционный режим (режим проветривания) подземного сооружения должен быть устойчивым, управляемым, обеспечивать безопасность ведения подземных работ, способствовать снижению активности пожара и созданию благоприятных условий для его тушения. Установленный режим вентиляции должен предотвращать поступление в зону горения взрывоопасных концентраций горючих газов, самопроизвольное опрокидывание вентиляционной струи и распространение продуктов горения по выработкам, в которых находятся люди.

При тушении подземных пожаров рекомендуются следующие вентиляционные режимы:

- завершение процесса проветривания подземного сооружения;
- поддержание режима вентиляции подземного объекта вплоть до возникновения возгорания;
- регулирование объема воздушных масс, поступающих в область горения, при сохранении вектора движения воздушного потока.

Выбор вентиляционного режима на дальнейших этапах тушения пожара определяется возможностями вентиляционной сети подземного сооружения, а также степенью опасности аварийного объекта по газу метану. При этом следует учитывать также фактические условия аварийной обстановки, место возникновения пожара и скорость его распространения, величину и направление тепловой депрессии.

На этапе выбора способа тушения также необходимо определить способы локализации пожара:

- оптимизация воздухообмена в очаге пожара с целью минимизации поступления кислорода, необходимого для поддержания процесса горения;
- создание препятствий для распространения пламени посредством применения водяных завес, включающих установку временных перегородок, закрытие противопожарных дверей и реализацию иных мер;
- изменение направления воздушных потоков с использованием вентиляционной системы;
- удаление горючих материалов из зоны возгорания или с пути распространения огня;

– применение комплекса мер, направленных на предотвращение распространения пламени, включая использование комбинации описанных методов.

Тушение подземных пожаров осуществляется следующими способами:

– активное тушение, представляющее собой непосредственное воздействие на очаг пожара с использованием огнетушащих средств, таких как вода, пена и другие вещества, которые подаются через трубопроводы, скважины или подводящие выработки;

– для предотвращения доступа кислорода в зону горения применяются специальные изолирующие сооружения, такие как перемычки;

– комбинированный метод, который включает временную изоляцию участка пожара с помощью установки перемычек с последующим вскрытием и активным тушением.

Более подробно рассмотрим каждый из способов тушения.

Если есть возможность добраться до очага пожара, то для тушения подземного пожара используют активные методы. Применяют огнетушители, воду, воздушно-механическую пену и другие средства пожаротушения.

Допускается тушение пожара со стороны исходящей струи воздуха при расположении очага вблизи выработок со свежей струей и при возможности вести такие работы в условиях плотного задымления и высокой температуры.

Для предупреждения распространения пожара по пустотам за крепью горных выработок необходимо извлекать из пустот горючие материалы, устанавливать в них водяные завесы, заполнять пустоты гипсом, пенобетоном и другими негорючими материалами.

При активном тушении пожара необходимо предусмотреть меры, предотвращающие обрушение пород и высыпание горящих масс, которые могут преградить выход отделений с места работы.

Горящие жидкости тушат огнетушащим порошком, пеной, песком, инертной пылью или распыленной водой.

Тушение горящих элементов аккумуляторных батарей необходимо выполнять в средствах защиты органов зрения на случай разбрызгивания электролита. Батарею, находящуюся на зарядке, необходимо предварительно отключить, при возможности рассоединить переключки секций внутри батареи. Тушение батареи производится огнетушащими порошками, песком, инертной пылью.

Тушение горящих кабелей, электродвигателей, пускателей и другого электрооборудования осуществляется после отключения электроэнергии. В случае тушения оборудования, находящегося под напряжением, необходимо применять только огнетушащие порошки, песок или инертный газ (пыль).

Для предотвращения обильного парообразования струю воды следует направлять не в очаг пожара, а по периферии зоны горения для постепенного снижения температуры очага пожара.

Для одновременного воздействия на очаги распространившегося пожара следует применять методы дистанционного объемного тушения огнетушащим порошком, воздушно-механической или инертной пеной (для образования пены вместо воды используются инертные газы).

Если возникший пожар невозможно потушить путем непосредственного или дистанционного воздействия на очаг огнетушащими веществами (скорость распространения горения превышает скорость тушения имеющимися средствами) или очаг пожара недоступен и возможно взрывоопасное скопление метана и попадание его в зону горения, пожар необходимо изолировать на безопасных расстояниях перемычками, параметры которых рассчитаны с учетом всех опасных факторов (ударная волна, задымление, загазованность, температурный режим, затопление и т.п.).

При возведении перемычек для изоляции пожара необходимо:

– произвести демонтаж и изоляцию воздухопроводов, а также удалить электрические кабели;

– в случае применения инертного газа требуется подготовить или проложить через соединительные элементы трубы для его подачи. Кроме того, следует предусмотреть возможность отбора проб воздуха и измерения его температуры. В соединительный элемент необходимо установить трубу с гидравлическим затвором для отвода воды;

– при необходимости следует укрепить крепь на расстоянии 5–7 м от соединительного элемента.

В процессе ликвидации подземного возгорания необходимо осуществлять непрерывный мониторинг концентрации горючих газов, таких как метан, угарный газ и водород. Кроме того, следует проводить оценку уровня кислорода и других параметров, включая температуру и скорость воздушного потока в шахтах, где происходит пожар. Если концентрация метана в зоне возгорания превышает 1 %, необходимо незамедлительно эвакуироваться. Для успешного тушения пожара требуется применение безопасных методов. Все указания относительно отбора проб воздуха, частоты измерений его расхода и температуры устанавливает РЛА.

**Горноспасательные работы при ликвидации аварий других видов.** При взрыве газа в первую очередь необходимо:

- выявить наиболее вероятный эпицентр взрыва и оценить потенциальную область его распространения;
- на основе полученных сведений установить, какое количество людей может оказаться в зоне поражения, а также определить их возможное местонахождение;
- разработать план по спасению пострадавших и оказанию им первой помощи.

В соответствии с планом ликвидации аварии для оказания помощи людям, застигнутым взрывом, первоприбывшие на объект силы и средства направляются непосредственно на аварийный участок для спасения людей. Также необходимо предусмотреть меры по восстановлению вентиляции аварийного участка, удалению газов из горных выработок и увеличению количества воздуха в наиболее вероятные места нахождения людей.

Для возобновления проветривания участка необходимо восстановить разрушенные вентиляционные устройства. Если они повреждены настолько, что быстрое восстановление невозможно, необходимо возвести временные быстровозводимые вентиляционные устройства (парашютные, парусные, дощатые, надувные перемишки и др.).

При внезапных выбросах горной массы и газа действия горноспасательной службы должны быть направлены на спасение людей и обеспечение интенсивного проветривания загазованных горных выработок. При внезапных выбросах, происшедших в двух или нескольких забоях при одновременном производстве в них сотрясательного взрывания, ликвидация последствий выполняется последовательно, начиная с горных выработок, в которых произошло опрокидывание вентиляционной струи. Подразделение ГСС, ведущее спасательные работы, должно учитывать возможность повторного (запоздалого) внезапного выброса. Поэтому одновременно с выводом людей из застигнутых выбросом горных выработок должна быть усилена крепь, особенно в местах сопряжения горных выработок. Следует обеспечить непрерывную подачу свежего воздуха по горным выработкам и по имеющимся воздухопроводам к местам наиболее вероятного нахождения людей.

Если в загазованной метаном горной выработке оказались люди, нуждающиеся в помощи, поиск и спасение их организуется независимо от концентрации метана в рудничной атмосфере этой подземной выработки. В этом случае для предупреждения взрыва газа, рудничной пыли в ходе ведения спасательных работ необходимо не допускать:

- искрообразования в стационарных и переносных светильниках спасателей при работе в атмосфере с опасным содержанием метана;
- применения электровозов или другого электрооборудования вблизи загазованных горных выработок;
- применения горного инструмента, работа с которым может вызвать искрообразование.

Кроме того, при необходимости следует организовать осаждение рудничной пыли в местах интенсивного пылеобразования, выполнение профилактических мероприятий по предотвращению самовозгорания выброшенного угля и других мер безопасности спасательных работ.

При проникновении в подземные выработки опасных химических веществ первоочередные действия отделений направляются на спасение людей и оказание им помощи, определение состава опасных химических веществ, устранение источника их поступления и предупреждение распространения этих веществ по выработкам.

Выполнение горноспасательных работ по ликвидации последствий проникновения в горные выработки опасных химических веществ допускается специально подготовленными отделениями при наличии у них аппаратуры экспресс-определения и контроля опасных химических веществ, специальных костюмов и средств для защиты кожного покрова и органов дыхания.

На ликвидацию последствий проникновения в горные выработки опасных химических веществ составляются специальные мероприятия (проекты), разрабатываемые с привлечением соответствующих специалистов в области опасных химических веществ. В мероприятиях (проектах) необходимо предусмотреть:

- порядок действий при разгазировании пораженных выработок, способы нейтрализации зараженной зоны специальными веществами или изоляции аварийного участка;
- меры безопасности при ведении аварийно-спасательных работ;
- контроль состава рудничной атмосферы и порядок отбора проб воздуха и шахтной воды;
- организацию связи для передачи информации на пост безопасности, резервным отделением или начальнику боевого участка.

При обрушениях в подземных выработках действия отделений должны быть направлены на установление связи с застигнутыми аварией людьми, их спасение и восстановление проветривания аварийного участка.

Для подхода к людям, застигнутым обрушением, организуется проходка спасательных и обходных поисковых выработок. Для ускорения проходческих работ привлекаются наиболее опытные рабочие и специалисты предприятия.

При разборке завала или проведении обходных горных выработок отделение должно иметь безопасный выход, постоянно следить за состоянием кровли, подтоплением горных выработок, подкреплять горные выработки и не допускать повторного обрушения. Восстановление горной выработки производится после усиления нарушенной (деформированной) крепи.

Работы по разборке обрушившейся горной массы и проведение поисковых выработок следует проводить одновременно из возможно большего числа мест.

При спасении людей, находящихся за завалом в горных выработках, где применяется пневматическая энергия, прекращать подачу сжатого воздуха на аварийный участок запрещается.

При обрушении горных выработок, в непосредственной кровле которых имеются обводненные пески или плывуны, для извлечения пострадавших следует проводить обходные горные выработки.

При обширных обрушениях действующих горных выработок (вследствие горных ударов и др.) следует бурить разведочные и спасательные скважины для оказания помощи пострадавшим.

При прорыве глины, плывунов или заиловочной пульпы в горные выработки действия горноспасательной службы должны быть направлены на установление места и источника аварии, определение мест нахождения людей, оказание им помощи, предупреждение распространения аварии и восстановление нормального проветривания на аварийном участке.

Для подхода к людям, застигнутым аварией, требуется проводить уборку и выпуск прорвавшейся в горные выработки массы, при необходимости проходить специальные горные выработки.

Для спасения людей при прорыве глины, пульпы или плывунов в горные выработки первое отделение направляется по нижнему горизонту против направления прекратившегося движения прорвавшейся массы, а второе отделение – по верхнему горизонту.

При направлении отделения против прекратившегося движения прорвавшейся массы по выработкам, не имеющим запасного выхода на верхний горизонт, необходимо иметь на посту безопасности резервное отделение, которое должно следить за обеспечением своевременного и безопасного обратного выхода работающего отделения и быть в постоянной готовности оказать ему помощь.

При прорыве глины, пульпы и плывунов в горные выработки верхнего горизонта на крутых пластах и на крутопадающих залежах горноспасательные работы должны вестись только с верхнего горизонта. Запрещается подходить под заиленные выработки снизу.

Уборка прорвавшейся в выработки глинистой массы осуществляется путем размыва ее водой и откачки шламовыми насосами либо погрузкой в шахтные вагонетки.

Если подземные работы с верхнего горизонта или поверхности вести невозможно, то выпуск глинистой массы, пульпы из вертикальных и наклонных выработок допускается только под защитой барьерных перемычек, установленных в горизонтальных подземных выработках в непосредственной близости от места выпуска глинистой пульпы и рассчитанных на максимальное динамическое воздействие пульпы. Выпуск массы в этом случае должен

производить один человек. После выпуска массы из восстающей подземной выработки работы по уборке пульпы в горизонтальной подземной выработке во избежание возможного повторного прорыва сверху должны вестись после возведения защитной перемычки в нижней части восстающей выработки.

При заторах, за которыми находится глина или пульпа, выпускать ее следует постепенно через небольшие отверстия в образовавшемся заторе. Если пульпа за затором находится под давлением, то разборка затора не производится.

Запрещается направлять людей в вертикальные и наклонные выработки снизу для непосредственной разборки заторов, за которыми находится пульпа.

### Заключение

В ходе проведения исследований установлены зависимости времени непрерывного пребывания горноспасателей в непригодной для дыхания среде от температуры окружающей среды в подземных выработках (время защитного действия АСВ от температуры окружающей среды). Установлено, что при температуре воздуха от 27 до 40 °С продолжительность непрерывного пребывания горноспасателей в ЗВТ изменяется при нахождении горноспасателя на одном месте в диапазоне 108–87 мин, при передвижении горноспасателя – в диапазоне 91–72 мин. Средний расход воздуха при этом в первом случае составляет 43,5±1,2 л/мин, во втором случае – 52,5±1,5 л/мин.

На основании проведенного анализа литературных источников и опыта зарубежных спасателей представлены основные подходы к ликвидации аварий в строящихся подземных сооружениях метрополитена: тушению подземных пожаров; проведению горноспасательных работ в условиях высоких температур при задымлении в подземных выработках, при взрыве газа; при проникновении в подземные выработки опасных химических веществ; при обрушениях в подземных выработках; при прорыве глины, плывунов или заиловочной пульпы в горные выработки. Представленная информация составит основу рекомендаций по проведению аварийно-спасательных работ на объектах подземного строительства Минского метрополитена.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, А.В. Горноспасательной службе в транспортном строительстве – 25 лет / А.В. Александров, А.Э. Куплис // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 1. – С. 31–36. – EDN: JVHADT.
2. Александров, А.В. Безопасность работ при освоении подземного пространства / А.В. Александров // Метро и тоннели. – 2007. – № 6. – С. 31–33. – EDN: UMSAKT.
3. Александров, А.В. Опыт горноспасательного обслуживания строительства транспортных тоннелей в Москве / А.В. Александров // Метро и тоннели. – 2008. – № 1. – С. 37–39. – EDN: ULRAIX.
4. Коган, В.З. Как появилась горноспасательная служба на Метрострое / В.З. Коган // Метро и тоннели. – 2017. – № 3-4. – С. 20–21. – EDN: ZJTGTB.
5. Tianbao, Ma. Research on propagation laws of explosion shock wave inside metro station / Ma Tianbao, Xu Xiangzhao, Ning Jianguo // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2017. – Vol. 46. – P. 54–68. – DOI: 10.1016/j.jlp.2017.01.009.
6. Zhang, Z. Measuring selection diversity of emergency medical service for metro stations: a case study in Beijing / Z. Zhang, L. Jia, Y. Qin // International journal of Geo-Information. – 2018. – Vol. 7, No. 7. – P. 260–275. – DOI: 10.3390/ijgi7070260.
7. Симонов, А.М. Проветривание аварийных участков шахт после внезапных выбросов угля, породы и газа / А.М. Симонов, Н.В. Карнаух, А.В. Агарков // Научный вестник НИИГД «Респиатор». – 2021. – № 3 (58). – С. 68–79. – EDN: QQLPCT.
8. Агарков, А.В. Оценка эффективности внедрения усовершенствованной системы дистанционного отбора проб шахтного воздуха в подразделения горноспасательной службы / А.В. Агарков // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 1 (8). – С. 14–22. – EDN: MIPRQA.
9. Симонов, А.М. Правила охраны труда в подразделениях горноспасательной службы / А.М. Симонов, А.В. Мавроди, В.В. Захлебин, А.В. Агарков // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 2 (9). – С. 333–342. – EDN: GLLKVV.

10. Симонов, А.М. Методика расчета штатной численности оперативной и оперативно-медицинской служб горноспасательных подразделений / А.М. Симонов, А.А. Всякий, А.В. Мавроди, А.В. Агарков // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2022. – № 1 (59). – С. 53–61. – EDN: SKQCPS.
11. Пернебек, К.Б. Мониторинг деформаций сооружений в зоне строительства метрополитена / К.Б. Пернебек, А.М. Абдыбек, С.Т. Солтабаева, М.Б. Нурпеисова // The Scientific Heritage. – 2022. – № 89. – С. 141–144. – DOI: 10.5281/zenodo.6575898. – EDN: OGFKFX.
12. Гайнуллин, Т.Ф. Анализ работы звеньев газодымозащитной службы в условиях ликвидации чрезвычайной ситуации в метрополитене / Т.Ф. Гайнуллин, Е.В. Михеева, М.В. Архипов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 11-2. – С. 137–147. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_112\_0\_137. – EDN: XRBCFY.
13. Василевский, А.Л. Строительство подземного пешеходного тоннеля закрытым способом в зоне влияния метрополитена в Минске / А.Л. Василевский // Метро и тоннели. – 2024. – № 1. – С. 2–6. – EDN: FYYEZH.
14. Голубева, Д.А. Влияние взрывообразного разрушения на железобетонные конструкции подземных сооружений / Д.А. Голубева, Г.Л. Шидловский // Метро и тоннели. – 2024. – № 2. – С. 4–7. – EDN: VKFANC.

**Особенности ликвидации аварий в строящихся подземных сооружениях метрополитена**  
**Particularities of the elimination of accidents in underground subway structures under construction**

**Морозов Артем Александрович**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра пожарной  
аварийно-спасательной техники, доцент  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: morozov@ucpminsk.ru  
SPIN-код: 7482-7284

**Artem A. Morozov**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Fire Rescue Equipment,  
Head of the Chair  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: morozov@ucpminsk.ru  
ORCID: 0000-0001-8079-2578

**Котов Александр Александрович**

Учреждение «Минское городское управление  
МЧС Республики Беларусь», пожарный  
аварийно-спасательный отряд на объектах  
Минского метрополитена, начальник отряда

Адрес: ул. Иерусалимская, 4,  
220004, г. Минск, Беларусь  
Email: minsk@mchs.gov.by

**Aleksandr A. Kotov**

Institution «Minsk City Department  
of the Ministry of Emergency Situations  
of the Republic of Belarus», Fire Rescue Unit  
at the Facilities of the Minsk Metro,  
Head of the Unit

Address: Ierusalimskaya str., 4,  
220004, Minsk, Belarus  
Email: minsk@mchs.gov.by

**Богданов Денис Юрьевич**

доктор военных наук, доцент  
Учреждение образования «Военная  
академия Республики Беларусь», кафедра  
тылового обеспечения, начальник кафедры  
Адрес: пр-т Независимости, 220,  
220057, г. Минск, Беларусь

**Denis Yu. Bogdanov**

Grand PhD in Military Sciences, Associate Professor  
Educational Establishment «Military Academy  
of Republic of Belarus», Chair of Logistic  
Support, Head of the Chair

Address: Nezavisimosti ave., 220,  
220057, Minsk, Belarus

**Казутин Евгений Геннадьевич**

кандидат технических наук  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра пожарной  
аварийно-спасательной техники, профессор  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: EKazutin@tut.by

**Evgeniy G. Kazutin**

PhD in Technical Sciences  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Fire Rescue Equipment,  
Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: EKazutin@tut.by  
ORCID: 0009-0008-1498-6284

## PARTICULARITIES OF THE ELIMINATION OF ACCIDENTS IN UNDERGROUND SUBWAY STRUCTURES UNDER CONSTRUCTION

**Morozov A.A., Kotov A.A., Bogdanov D.Yu., Kazutin E.G.**

*Purpose.* To formulate the main recommendations to the elimination of accidents in underground subway structures under construction.

*Methods.* Empirical research methods are used in the work (determining the dependence of the protective action time of a compressed air breathing apparatus (CABA) on ambient temperature), the method of theoretical analysis of literary sources when evaluating research in the field of accident elimination in underground subway structures under construction. The results were processed using the evaluation method and theoretical generalization of the data obtained.

*Findings.* Based on the conducted experimental studies, the dependences of the time of the protective action of the CABA on the ambient air temperature in underground workings have been determined. The main approaches to the elimination of accidents in underground subway structures under construction have been identified, taking into account the design features of these facilities and the need for special services to cooperate in mine rescue operations.

*Application field of research.* The research results can be used by the Ministry of Emergency Situations when developing recommendations for emergency rescue operations in underground subway structures under construction.

*Keywords:* subway, underground workings, mine workings, accident response, mine rescue service.

(The date of submitting: March 18, 2025)

### REFERENCES

1. Aleksandrov A.V., Kuplis A.E. Gornospasatel'noy sluzhbe v transportnom stroitel'stve – 25 let [Mining rescue service in transport construction – 25 years]. *Occupational Safety in Industry*, 2005. No. 1. Pp. 31–36. (rus). EDN: JVHADT.
2. Aleksandrov A.V. Bezopasnost' rabot pri osvoenii podzemnogo prostranstva [Safety of work during the exploitation of underground space]. *Metro and Tunnels*, 2007. No. 6. Pp. 31–33. (rus). EDN: UMSAKT.
3. Aleksandrov A.V. Opyt gornospasatel'nogo obsluzhivaniya stroitel'stva transportnykh tonneley v Moskve [Experience in mining and rescue services for the construction of transport tunnels in Moscow]. *Metro and Tunnels*, 2008. No. 1. Pp. 37–39. (rus). EDN: ULRAIX.
4. Kogan V.Z. Kak poyavilas' gornospasatel'naya sluzhba na Metrostroe [How the mine rescue service appeared on Metrostroy]. *Metro and Tunnels*, 2017. No. 3-4. Pp. 20–21. (rus). EDN: ZJTGTB.
5. Tianbao Ma, Xiangzhao Xu, Jianguo Ning. Research on propagation laws of explosion shock wave inside metro station. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2017. Vol. 46. Pp. 54–68. DOI: 10.1016/j.jlp.2017.01.009.
6. Zhang Z., Jia L., Qin Y. Measuring selection diversity of emergency medical service for metro stations: a case study in Beijing. *International Journal of Geo-Information*, 2018. Vol. 7, No. 7. Pp. 260–275. DOI: 10.3390/ijgi7070260.
7. Simonov A.M., Karnaukh N.V., Agarkov A.V. Provetrivanie avariynykh uchastkov shakht posle vnezapnykh vybrosov uglia, porody i gaza [Ventilation of accident areas of mines after sudden coal, rock and gas outbursts]. *Nauchnyy vestnik NIIGD «Respirator»*, 2021. No. 3 (58). Pp. 68–79. (rus). EDN: QQLPCT.
8. Agarkov A.V. Otsenka effektivnosti vnedreniya usovershenstvovannoy sistemy distantsionnogo otbora prob shakhtnogo vozdukh v podrazdeleniya gornospasatel'noy sluzhby [Estimation of the efficiency of implementation of the improved system of remote sampling of mines air samples in the divisions of mining-rescue service]. *Fire and Technospheric Safety: Problems and Ways of Improvement*, 2021. No. 1 (8). Pp. 14–22. (rus). EDN: MIPRQA.
9. Simonov A.M., Mavrodi A.V., Zakhlebin V.V., Agarkov A.V. Pravila okhrany truda v podrazdeleniyakh gornospasatel'noy sluzhby [Rules for labor protection in the units of the mine-rescue service]. *Fire and Technospheric Safety: Problems and Ways of Improvement*, 2021. No. 2 (9). Pp. 333–342. (rus). EDN: GLLKVV.
10. Simonov A.M., Vsyakiy A.A., Mavrodi A.V., Agarkov A.V. Metodika rascheta shtatnoy chislennosti operativnoy i operativno-meditsinskoy sluzhby gornospasatel'nykh podrazdeleniy [Methodology for calculating manpower of operational and operational-medical services of mine-rescue subdivisions]. *Nauchnyy Vestnik NIIGD «Respirator»*, 2022. No. 1 (59). Pp. 53–61. (rus). EDN: SKQCPS.

11. Pernebek K.B., Abdybek A.M., Soltabaeva S.T., Nurpeisova M.B. Monitoring deformatsiy sooruzheniy v zone stroitel'stva metropolitena [Monitoring of deformations of structures in the metro construction zone]. *The Scientific Heritage*, 2022. No. 89. Pp. 141–144. (rus). DOI: 10.5281/zenodo.6575898. EDN: OGFKFX.
12. Gaynullin T.F., Mikheeva E.V., Arkhipov M.V. Analiz raboty zven'ev gazodymozashchitnoy sluzhby v usloviyakh likvidatsii chrezvychaynoy situatsii v metropolitene [Analysis of gas and smoke protection service units work in the conditions of emergency situation elimination in the subway]. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2022. No. 11-2. Pp. 137–147. (rus). DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_112\_0\_137. EDN: XRBCFY.
13. Vasilevskiy A.L. Stroitel'stvo podzemnogo peshekhodnogo tonnelya zakrytym sposobom v zone vliyaniya metropolitena v Minske [Construction of an underground pedestrian tunnel by a closed method in the zone of influence of the metro in Minsk]. *Metro and Tunnels*, 2024. No. 1. Pp. 2–6. (rus). EDN: FYYEZT.
14. Golubeva D.A., Shidlovskiy G.L. Vliyanie vzryvoobraznogo razrusheniya na zhelezobetonnyye konstruksii podzemnykh sooruzheniy [Influence of explosive destruction on reinforced concrete structures of underground structures]. *Metro and Tunnels*, 2024. No. 2. Pp. 4–7. (rus). EDN: BKFAHC.

Copyright © 2025 Morozov A.A., Kotov A.A., Bogdanov D.Yu., Kazutin E.G.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.